

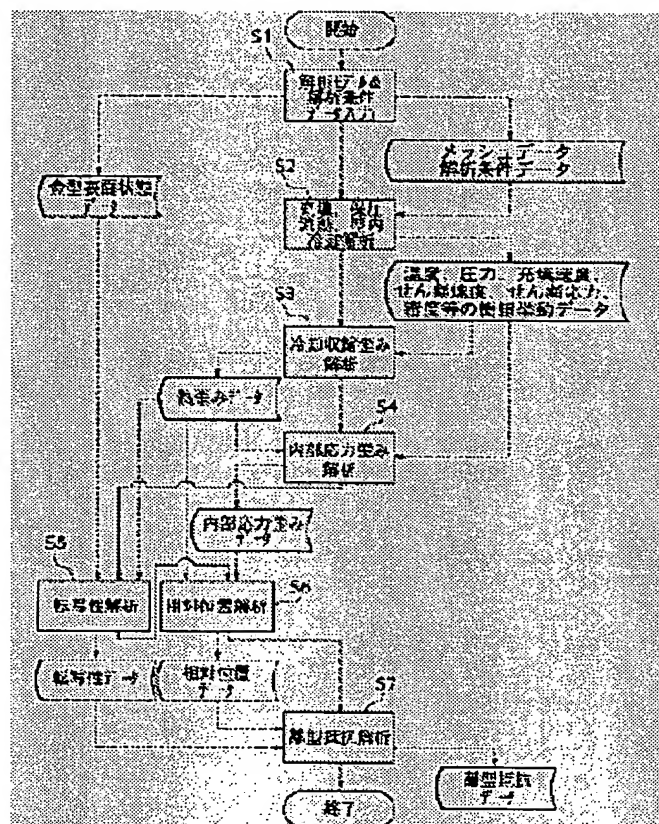
APPARATUS AND METHOD FOR SIMULATING INJECTION MOLDING PROCESS, AND STORAGE MEDIUM

Patent number: JP2001205682
 Publication date: 2001-07-31
 Inventor: HORIKAWA JUNICHI
 Applicant: CANON KK
 Classification:
 - international: B29C45/76; B29C45/78
 - european:
 Application number: JP20000016947 20000126
 Priority number(s): JP20000016947 20000126

Report a data error here

Abstract of JP2001205682

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an apparatus for simulating an injection molding process capable of accurately calculating a mold releasing force of an overall molding from a frictional force between the molding and a mold. **SOLUTION:** The method for simulating the injection molding process comprises the steps of calculating a dimensional change amount of the molding based on thermal strain data due to a contraction of a cooling step and strain data in association with an internal stress change, and calculating relative position data of a mold and the molding generated in association with the dimensional change amount (S6). The method further comprises the steps of calculating an area of a part for interfering in a roughness curve of the mold with the roughness curve of the molding to a mold releasing direction by considering the relative positional data of the mold and the molding, and calculating a mold release resistance force (S7). Here, when it is assumed that a resin of the part for interfering the curve of the mold and the curve of the molding interfere to the mold releasing direction is cut out by the mold to generate a resistance force, it can be considered that the total sum of the resistance forces generated at all the elements is the mold release resistance force of the overall molding, and the resistance force is, for example, represented by a formula of 'area to be cut-out × shearing strength of resin'.



BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-205682
(P2001-205682A)

(43) 公開日 平成13年7月31日 (2001.7.31)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード^{*}(参考)

B 2 9 C 45/76
45/78

B 2 9 C 45/76
45/78

4 F 2 0 6

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2000-16947(P2000-16947)

(22) 出願日 平成12年1月26日(2000.1.26)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 堀川 順一

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(74) 代理人 100081880

弁理士 渡部 敏彦

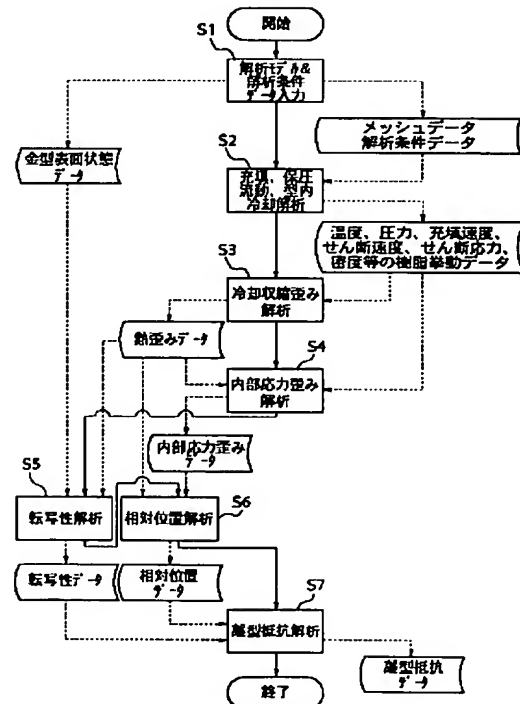
Fターム(参考) 4F206 AM23 JA07 JL09 JP18 JP30

(54) 【発明の名称】 射出成形プロセスのシミュレーション装置、方法および記憶媒体

(57) 【要約】

【課題】 成形品と金型との間の摩擦力から成形品全体の離型抵抗力をより正確に算出できる射出成形プロセスのシミュレーション装置を提供する。

【解決手段】 冷却過程の収縮による熱歪みデータおよび内部応力変化に伴う歪みデータに基づき、成形品の寸法変化量を算出し、それに伴って発生する型と成形品の相対位置データを算出する(S6)。型と成形品の相対位置データを考慮し、離型方向に対して金型の粗さ曲線と成形品の粗さ曲線とが干渉する部分の面積を算出し、離型抵抗力を算出する(S7)。ここで、離型方向に対して金型の粗さ曲線と成形品の粗さ曲線とが干渉する部分の樹脂が金型によって削られることにより抵抗力が発生すると仮定する場合、全ての要素でその発生した抵抗力を足し合わせたものが成形品全体の離型抵抗力と考えることができ、その抵抗力は、例えば「削られる面積×樹脂のせん断強さ」の式で表される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 成形品形状をモデル化し、射出成形プロセスに用いられる金型構造、成形条件、成形材料などの設計項目を評価する射出成形プロセスのシミュレーション装置において、

前記成形材料の充填、保圧流動および型内冷却解析を順次行って、金型内の前記成形材料の状態量を算出する状態量算出手段と、

前記成形材料からなる成形品の各部における充填速度が所定値以下になった時点の状態量を特定する状態量特定手段と、

該特定された状態量に基づき、金型表面の粗さに対する成形品表面の粗さを転写パラメータとして算出する転写パラメータ算出手段と、

前記時点から前記成形品が常温かつ大気圧の状態に安定するまでの状態量の変化を算出し、該算出された状態量に変化に基づき、前記成形品が離型されるまでの間、熱歪みを算出する熱歪み算出手段と、

該算出された熱歪みに基づき、前記金型表面と前記成形品表面との相対位置を算出する相対位置算出手段と、
該算出された両表面の相対位置および前記算出された転写パラメータに基づき、離型突き出し力に対して前記成形品の各部に働く抵抗力を算出し、成形品全体の離型抵抗力を算出する離型抵抗力算出手段とを備えたことを特徴とする射出成形プロセスのシミュレーション装置。

【請求項2】 前記成形品が離型されるまでの間、前記金型内で拘束されることによる反力を算出する反力算出手段と、

該算出された反力に依存した物性値を算出する物性値算出手段とを備え、

前記離型抵抗力算出手段は、前記相対位置、前記転写パラメータおよび前記物性値に基づき、前記離型抵抗力を算出することを特徴とする請求項1記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置。

【請求項3】 前記物性値は前記成形材料の硬化を考慮したせん断強さを含むことを特徴とする請求項2記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置。

【請求項4】 前記離型抵抗力算出手段は、離型方向に対して前記両表面が干渉する部分を算出し、該算出された部分と前記成形品のせん断強さとの積を演算して前記離型抵抗力を算出することを特徴とする請求項1または請求項2記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置。

【請求項5】 前記成形品と前記金型との接触表面に働く表面間力を算出する表面間力算出手段を備え、

前記離型抵抗力算出手段は、前記算出された成形品と金型との接触表面に働く表面間力に基づき、前記離型抵抗力を算出することを特徴とする請求項1または請求項2記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置。

【請求項6】 前記離型抵抗力算出手段は、離型方向に

対して前記両表面が干渉する部分を算出し、該算出された部分と前記成形品のせん断強さとの積を演算し、該演算された前記干渉部分と前記成形品のせん断強さとの積に前記表面間力を加えて前記離型抵抗力を算出することを特徴とする請求項5記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置。

【請求項7】 前記時点から離型されるまでの拘束条件による内部応力変化量を算出し、該算出された内部応力変化量に相当する内部応力歪みを算出する内部応力歪み算出手段を備え、

前記相対位置算出手段は、前記算出された内部応力歪みに基づき、前記金型表面と前記成形品表面との相対位置を算出することを特徴とする請求項1、請求項2または請求項5記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置。

【請求項8】 前記状態量は、前記成形材料の温度、圧力、密度、充填速度、せん断速度およびせん断応力を含むことを特徴とする請求項1、請求項2または請求項5記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置。

20 【請求項9】 成形品形状をモデル化し、射出成形プロセスに用いられる金型構造、成形条件、成形材料などの設計項目を評価する射出成形プロセスのシミュレーション方法において、

前記成形材料の充填、保圧流動および型内冷却解析を順次行って、金型内の前記成形材料の状態量を算出する工程と、

前記成形材料からなる成形品の各部における充填速度が所定値以下になった時点の状態量を特定する工程と、

30 該特定された状態量に基づき、金型表面の粗さに対する成形品表面の粗さを転写パラメータとして算出する工程と、

前記時点から前記成形品が常温かつ大気圧の状態に安定するまでの状態量の変化を算出し、該算出された状態量に変化に基づき、前記成形品が離型されるまでの間、熱歪みを算出する工程と、

該算出された熱歪みに基づき、前記金型表面と前記成形品表面との相対位置を算出する工程と、

40 該算出された両表面の相対位置および前記算出された転写パラメータに基づき、離型突き出し力に対して前記成形品の各部に働く抵抗力を算出し、成形品全体の離型抵抗力を算出する工程とを有することを特徴とする射出成形プロセスのシミュレーション方法。

【請求項10】 前記成形品が離型されるまでの間、前記金型内で拘束されることによる反力を算出する工程と、

該算出された反力に依存した物性値を算出する工程とを有し、

前記離型抵抗力を算出する工程では、前記相対位置、前記転写パラメータおよび前記物性値に基づき、前記離型抵抗力を算出することを特徴とする請求項9記載の射出

成形プロセスのシミュレーション方法。

【請求項 11】 前記物性値は前記成形材料の硬化を考慮したせん断強さを含むことを特徴とする請求項 10 記載の射出成形プロセスのシミュレーション方法。

【請求項 12】 前記離型抵抗力を算出する工程では、離型方向に対して前記両表面が干渉する部分を算出し、該算出された部分と前記成形品のせん断強さとの積を演算して前記離型抵抗力を算出することを特徴とする請求項 9 または請求項 10 記載の射出成形プロセスのシミュレーション方法。

【請求項 13】 前記成形品と前記金型との接触表面に働く表面間力を算出する工程を有し、前記離型抵抗力を算出する工程では、前記算出された成形品と金型との接触表面に働く表面間力に基づき、前記離型抵抗力を算出することを特徴とする請求項 9 または請求項 10 記載の射出成形プロセスのシミュレーション方法。

【請求項 14】 前記離型抵抗力を算出する工程では、離型方向に対して前記両表面が干渉する部分を算出し、該算出された部分と前記成形品のせん断強さとの積を演算し、該演算された前記干渉する部分と前記成形品のせん断強さとの積に前記表面間力を加えて前記離型抵抗力を算出することを特徴とする請求項 13 記載の射出成形プロセスのシミュレーション方法。

【請求項 15】 前記時点から離型されるまでの拘束条件による内部応力変化量を算出し、該算出された内部応力変化量に相当する内部応力歪みを算出する工程を有し、

前記相対位置を算出する工程では、前記算出された内部応力歪みに基づき、前記金型表面と前記成形品表面との相対位置を算出することを特徴とする請求項 19、請求項 10 または請求項 13 記載の射出成形プロセスのシミュレーション方法。

【請求項 16】 前記状態量は、前記成形材料の温度、圧力、密度、充填速度、せん断速度およびせん断応力を含むことを特徴とする請求項 9、請求項 10 または請求項 13 記載の射出成形プロセスのシミュレーション方法。

【請求項 17】 成形品形状をモデル化し、射出成形プロセスに用いられる金型構造、成形条件、成形材料などの設計項目を評価する射出成形プロセスのシミュレーション装置を構築するコンピュータによって実行されるプログラムを格納する記憶媒体において、

前記プログラムは、前記成形材料の充填、保圧流動および型内冷却解析を順次行って、金型内の前記成形材料の状態量を算出する手順と、

前記成形材料からなる成形品の各部における充填速度が所定値以下になった時点の状態量を特定する手順と、該特定された状態量に基づき、金型表面の粗さに対する

成形品表面の粗さを転写パラメータとして算出する手順と、

前記時点から前記成形品が常温かつ大気圧の状態に安定するまでの状態量の変化を算出し、該算出された状態量に変化に基づき、前記成形品が離型されるまでの間、熱歪みを算出する手順と、

該算出された熱歪みに基づき、前記金型表面と前記成形品表面との相対位置を算出する手順と、

10 該算出された両表面の相対位置および前記算出された転写パラメータに基づき、離型突き出し力に対して前記成形品の各部に働く抵抗力を算出し、成形品全体の離型抵抗力を算出する手順とを含むことを特徴とする記憶媒体。

【請求項 18】 前記プログラムは、前記成形品が離型されるまでの間、前記金型内で拘束されることによる反力を算出する手順と、

該算出された反力に依存した物性値を算出する手順とを含み、

20 前記相対位置を算出する手順では、前記熱歪みの変化量に基づいて前記金型表面と前記成形品表面との相対位置を算出し、

前記離型抵抗力を算出する手順では、前記相対位置、前記転写パラメータおよび前記物性値に基づき、前記離型抵抗力を算出することを特徴とする請求項 17 記載の記憶媒体。

【請求項 19】 前記物性値は前記成形材料の硬化を考慮したせん断強さを含むことを特徴とする請求項 18 記載の記憶媒体。

30 【請求項 20】 前記離型抵抗力を算出する手順では、離型方向に対して前記両表面が干渉する部分を算出し、該算出された部分と前記成形品のせん断強さとの積を演算して前記離型抵抗力を算出することを特徴とする請求項 17 または請求項 18 記載の記憶媒体。

【請求項 21】 前記プログラムは、前記成形品と前記金型との接触表面に働く表面間力を算出する手順を含み、

40 前記離型抵抗力を算出する手順では、前記算出された成形品と金型との接触表面に働く表面間力に基づき、前記離型抵抗力を算出することを特徴とする請求項 17 または請求項 18 記載の記憶媒体。

【請求項 22】 前記離型抵抗力を算出する手順では、離型方向に対して前記両表面が干渉する部分を算出し、該算出された部分と前記成形品のせん断強さとの積を演算し、該演算された前記干渉する部分と前記成形品のせん断強さとの積に前記表面間力を加えて前記離型抵抗力を算出することを特徴とする請求項 21 記載の記憶媒体。

50 【請求項 23】 前記プログラムは、前記時点から離型されるまでの拘束条件による内部応力変化量を算出し、該算出された内部応力変化量に相当する内部応力歪みを

算出する手順を有し、

前記相対位置を算出する手順では、前記算出された内部応力歪みに基づき、前記金型表面と前記成形品表面との相対位置を算出することを特徴とする請求項 17、請求項 18 または請求項 21 記載の記憶媒体。

【請求項 24】 前記状態量は、前記成形材料の温度、圧力、密度、充填速度、せん断速度およびせん断応力を含むことを特徴とする請求項 17、請求項 18 または請求項 21 記載の記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば、成形品形状および成形金型をモデル化して、充填、保圧流動、型内冷却、自然冷却のプロセスにおける熱可塑性樹脂の温度、圧力、密度などの状態量の変化を予測し、成形中および成形品そのものの不良を判定して、成形品形状、成形条件、材料物性、金型構造などの設計項目の最適化を検討する射出成形プロセスのシミュレーション装置、方法および記憶媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、射出成形における充填、保圧冷却、型内冷却を経て、離型時の突き出し力に対する抵抗力の予測を行うシステムがいくつか提案されている。

【0003】例えば、特開平 7-9522 号公報には、射出成形プロセスにおける充填解析、保圧流動解析、冷却解析を順次行って、射出成形プロセス中の成形材料の温度、圧力、比容積変化を計算し、この計算結果に基づいて成形品の各部が変形を開始する時点の樹脂の状態量を算出し、この算出結果に基づいて離型時から成形品が温度、寸法的に安定するまでの熱歪みシミュレーションを行うことにより、金型外での成形品の寸法、温度変化挙動を算出し、その算出結果に基づいて、最終製品の反り、ヒケ、肉厚変動などの形状変形量を算出する際、成形品の各部にかかる応力分布を求め、この応力分布と、成形品が金型に接触している部分の面積と、成形品と金型との間の摩擦係数とから型開き時までの離型抵抗を予測し、予測された離型抵抗の分布から突き出しピンの位置および本数を決定するシステムが示されている。

【0004】また、特開平 7-85128 号公報には、樹脂成形品の形状を複数の微小要素に分割すると共に、これら各微小要素についてそれぞれ樹脂成形品の金型からの離型時点における収縮歪みを求め、この微小要素毎の収縮歪と金型による拘束条件とから、樹脂の収縮に対抗して金型表面に発生する反力 R を求めると共に、この反力 R から金型表面の摩擦力 F を求め、この摩擦力 F の樹脂成形品に対する分布と大きさから離型時の突き出しピンの位置または本数を設定するシステムが示されている。

【0005】上記いずれのシステムも、成形品の歪みに伴う金型表面の反力と離型時における突き出し力とから

成形品と金型との間に摩擦力が発生し、離型抵抗力となることを前提としたものであった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】金型表面の反力および突き出し力から摩擦力が発生することは、一般的な力学モデルであり、実際に正確な摩擦力を求めるには、まず成形品の歪みの予測精度を上げることが重要であり、欠かせない課題である。

【0007】また、成形プロセスでは、一般にその冷却過程において不均一な収縮が発生するが、その収縮開始のメカニズムについて想定した解析モデルによっては、最終的な成形品の寸法に大きな影響を与える。

【0008】また、不均一な収縮に伴って各々の部分で残留応力が発生することが知られている。さらに、その残留応力は温度と時間の変化とともに緩和され、反りやその他の変形などの最終的な成形品の寸法変化に影響を与えることもまた知られている。

【0009】しかしながら、上記いずれのシステムもこれらの点についての記述がなされていないか、もしくは曖昧であった。さらに、摩擦力発生力の学的モデルについても、その具体的な記述がなされていなかった。

【0010】そこで、本発明は、上記実情を考慮してなされたものであり、成形品の離型時の歪みをより正確に算出し、それに伴う金型表面の反力と、離型時における突き出し力とによる成形品と金型との間の摩擦力から成形品全体の離型抵抗力をより正確に算出することができる射出成形プロセスのシミュレーション装置、方法および記憶媒体を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の請求項 1 に記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置は、成形品形状をモデル化し、射出成形プロセスに用いられる金型構造、成形条件、成形材料などの設計項目を評価する射出成形プロセスのシミュレーション装置において、前記成形材料の充填、保圧流動および型内冷却解析を順次行って、金型内の前記成形材料の状態量を算出する状態量算出手段と、前記成形材料からなる成形品の各部における充填速度が所定値以下になった時点の状態量を特定する状態量特定手段と、該特定された状態量に基づき、金型表面の粗さに対する成形品表面の粗さを転写パラメータとして算出する転写パラメータ算出手段と、前記時点から前記成形品が常温かつ大気圧の状態に安定するまでの状態量の変化を算出し、該算出された状態量に変化に基づき、前記成形品が離型されるまでの間、熱歪みを算出する熱歪み算出手段と、該算出された熱歪みに基づき、前記金型表面と前記成形品表面との相対位置を算出する相対位置算出手段と、該算出された両表面の相対位置および前記算出された転写パラメータに基づき、離型突き出し力に対して前記成形品の各部に働く抵抗力を算出し、成形品全体の離型抵抗

力を算出する離型抵抗力算出手段とを備えたことを特徴とする。

【0012】請求項2に記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置は、請求項1に係る射出成形プロセスのシミュレーション装置において、前記成形品が離型されるまでの間、前記金型内で拘束されることによる反力を算出する反力算出手段と、該算出された反力に依存した物性値を算出する物性値算出手段とを備え、前記離型抵抗力算出手段は、前記相対位置、前記転写パラメータおよび前記物性値に基づき、前記離型抵抗力を算出することを特徴とする。

【0013】請求項3に記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置では、請求項2に係る射出成形プロセスのシミュレーション装置において、前記物性値は前記成形材料の硬化を考慮したせん断強さを含むことを特徴とする。

【0014】請求項4に記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置では、請求項1または請求項2に係る射出成形プロセスのシミュレーション装置において、前記離型抵抗力算出手段は、離型方向に対して前記両表面が干渉する部分を算出し、該算出された部分と前記成形品のせん断強さとの積を演算して前記離型抵抗力を算出することを特徴とする。

【0015】請求項5に記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置は、請求項1または請求項2に係る射出成形プロセスのシミュレーション装置において、前記成形品と前記金型との接触表面に働く表面間力を算出する表面間力算出手段を備え、前記離型抵抗力算出手段は、前記算出された成形品と金型との接触表面に働く表面間力に基づき、前記離型抵抗力を算出することを特徴とする。

【0016】請求項6に記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置では、請求項5に係る射出成形プロセスのシミュレーション装置において、前記離型抵抗力算出手段は、離型方向に対して前記両表面が干渉する部分を算出し、該算出された部分と前記成形品のせん断強さとの積を演算し、該演算された前記干渉する部分と前記成形品のせん断強さとの積に前記表面間力を加えて前記離型抵抗力を算出することを特徴とする。

【0017】請求項7に記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置は、請求項1、請求項2または請求項5に係る射出成形プロセスのシミュレーション装置において、前記時点から離型されるまでの拘束条件による内部応力変化量を算出し、該算出された内部応力変化量に相当する内部応力歪みを算出する内部応力歪み算出手段を備え、前記相対位置算出手段は、前記算出された内部応力歪みに基づき、前記金型表面と前記成形品表面との相対位置を算出することを特徴とする。

【0018】請求項8に記載の射出成形プロセスのシミュレーション装置では、請求項1、請求項2または請求

項5に係る射出成形プロセスのシミュレーション装置において、前記状態量は、前記成形材料の温度、圧力、密度、充填速度、せん断速度およびせん断応力を含むことを特徴とする。

【0019】請求項9に記載の射出成形プロセスのシミュレーション方法は、成形品形状をモデル化し、射出成形プロセスに用いられる金型構造、成形条件、成形材料などの設計項目を評価する射出成形プロセスのシミュレーション方法において、前記成形材料の充填、保圧流動および型内冷却解析を順次行つて、金型内の前記成形材料の状態量を算出する工程と、前記成形材料からなる成形品の各部における充填速度が所定値以下になった時点の状態量を特定する工程と、該特定された状態量に基づき、金型表面の粗さに対する成形品表面の粗さを転写パラメータとして算出する工程と、前記時点から前記成形品が常温かつ大気圧の状態に安定するまでの状態量の変化を算出し、該算出された状態量に変化に基づき、前記成形品が離型されるまでの間、熱歪みを算出する工程と、該算出された熱歪みに基づき、前記金型表面と前記成形品表面との相対位置を算出する工程と、該算出された両表面の相対位置および前記算出された転写パラメータに基づき、離型突き出し力に対して前記成形品の各部に働く抵抗力を算出し、成形品全体の離型抵抗力を算出する工程とを有することを特徴とする。

【0020】請求項10に記載の射出成形プロセスのシミュレーション方法は、請求項9に係る射出成形プロセスのシミュレーション方法において、前記成形品が離型されるまでの間、前記金型内で拘束されることによる反力を算出する工程と、該算出された反力に依存した物性値を算出する工程とを有し、前記離型抵抗力を算出する工程では、前記相対位置、前記転写パラメータおよび前記物性値に基づき、前記離型抵抗力を算出することを特徴とする。

【0021】請求項11に記載の射出成形プロセスのシミュレーション方法では、請求項10に係る射出成形プロセスのシミュレーション方法において、前記物性値は前記成形材料の硬化を考慮したせん断強さを含むことを特徴とする。

【0022】請求項12に記載の射出成形プロセスのシミュレーション方法は、請求項9または請求項10に係る射出成形プロセスのシミュレーション方法において、前記離型抵抗力を算出する工程では、離型方向に対して前記両表面が干渉する部分を算出し、該算出された部分と前記成形品のせん断強さとの積を演算して前記離型抵抗力を算出することを特徴とする。

【0023】請求項13に記載の射出成形プロセスのシミュレーション方法は、請求項9または請求項10に係る射出成形プロセスのシミュレーション方法において、前記成形品と前記金型との接触表面に働く表面間力を算出する工程を有し、前記離型抵抗力を算出する工程で

は、前記算出された成形品と金型との接触表面に働く表面間力に基づき、前記離型抵抗力を算出することを特徴とする。

【0024】請求項14に記載の射出成形プロセスのシミュレーション方法は、請求項13に係る射出成形プロセスのシミュレーション方法において、前記離型抵抗力を算出する工程では、離型方向に対して前記両表面が干渉する部分を算出し、該算出された部分と前記成形品のせん断強さとの積を演算し、該演算された前記干渉する部分と前記成形品のせん断強さとの積に前記表面間力を加えて前記離型抵抗力を算出することを特徴とする。

【0025】請求項15に記載の射出成形プロセスのシミュレーション方法は、請求項19、請求項10または請求項13に係る射出成形プロセスのシミュレーション方法において、前記時点から離型されるまでの拘束条件による内部応力変化量を算出し、該算出された内部応力変化量に相当する内部応力歪みを算出する工程を有し、前記相対位置を算出する工程では、前記算出された内部応力歪みに基づき、前記金型表面と前記成形品表面との相対位置を算出することを特徴とする。

【0026】請求項16に記載の射出成形プロセスのシミュレーション方法では、請求項9、請求項10または請求項13に係る射出成形プロセスのシミュレーション方法において、前記状態量は、前記成形材料の温度、圧力、密度、充填速度、せん断速度およびせん断応力を含むことを特徴とする。

【0027】請求項17に記載の記憶媒体は、成形品形状をモデル化し、射出成形プロセスに用いられる金型構造、成形条件、成形材料などの設計項目を評価する射出成形プロセスのシミュレーション装置を構築するコンピュータによって実行されるプログラムを格納する記憶媒体において、前記プログラムは、前記成形材料の充填、保圧流動および型内冷却解析を順次行って、金型内の前記成形材料の状態量を算出する手順と、前記成形材料からなる成形品の各部における充填速度が所定値以下になった時点の状態量を特定する手順と、該特定された状態量に基づき、金型表面の粗さに対する成形品表面の粗さを転写パラメータとして算出する手順と、前記時点から前記成形品が常温かつ大気圧の状態に安定するまでの状態量の変化を算出し、該算出された状態量に変化に基づき、前記成形品が離型されるまでの間、熱歪みを算出する手順と、該算出された熱歪みに基づき、前記金型表面と前記成形品表面との相対位置を算出する手順と、該算出された両表面の相対位置および前記算出された転写パラメータに基づき、離型突き出し力に対して前記成形品の各部に働く抵抗力を算出し、成形品全体の離型抵抗力を算出する手順とを含むことを特徴とする。

【0028】請求項18に記載の記憶媒体では、請求項17に係る記憶媒体において、前記プログラムは、前記成形品が離型されるまでの間、前記金型内で拘束される

ことによる反力を算出する手順と、該算出された反力に依存した物性値を算出する手順とを含み、前記相対位置を算出する手順では、前記熱歪みの変化量に基づいて前記金型表面と前記成形品表面との相対位置を算出し、前記離型抵抗力を算出する手順では、前記相対位置、前記転写パラメータおよび前記物性値に基づき、前記離型抵抗力を算出することを特徴とする。

【0029】請求項19に記載の記憶媒体では、請求項18に係る記憶媒体において、前記物性値は前記成形材料の硬化を考慮したせん断強さを含むことを特徴とする。

【0030】請求項20に記載の記憶媒体は、請求項17または請求項18に係る記憶媒体において、前記離型抵抗力を算出する手順では、離型方向に対して前記両表面が干渉する部分を算出し、該算出された部分と前記成形品のせん断強さとの積を演算して前記離型抵抗力を算出することを特徴とする。

【0031】請求項21に記載の記憶媒体では、請求項17または請求項18に係る記憶媒体において、前記プログラムは、前記成形品と前記金型との接触表面に働く表面間力を算出する手順を含み、前記離型抵抗力を算出する手順では、前記算出された成形品と金型との接触表面に働く表面間力に基づき、前記離型抵抗力を算出することを特徴とする。

【0032】請求項22に記載の記憶媒体は、請求項21に係る記憶媒体において、前記離型抵抗力を算出する手順では、離型方向に対して前記両表面が干渉する部分を算出し、該算出された部分と前記成形品のせん断強さとの積を演算し、該演算された前記干渉する部分と前記成形品のせん断強さとの積に前記表面間力を加えて前記離型抵抗力を算出することを特徴とする。

【0033】請求項23に記載の記憶媒体では、請求項17、請求項18または請求項21に係る記憶媒体において、前記プログラムは、前記時点から離型されるまでの拘束条件による内部応力変化量を算出し、該算出された内部応力変化量に相当する内部応力歪みを算出する手順を有し、前記相対位置を算出する手順では、前記算出された内部応力歪みに基づき、前記金型表面と前記成形品表面との相対位置を算出することを特徴とする。

【0034】請求項24に記載の記憶媒体では、請求項17、請求項18または請求項21に係る記憶媒体において、前記状態量は、前記成形材料の温度、圧力、密度、充填速度、せん断速度およびせん断応力を含むことを特徴とする。

【0035】

【発明の実施の形態】本発明の射出成形プロセスのシミュレーション装置、方法および記憶媒体の実施形態について説明する。

【0036】〔第1の実施形態〕図1は射出成形プロセスのシミュレーション装置の機能的構成を示すブロック

図である。解析モデル&解析条件データ入力部 11 は、金型および成形品形状モデル、樹脂データ、成形条件データおよび金型の表面状態のデータを入力する。そして、入力されたデータを解析モデル&解析条件データ記憶部 21 および型表面状態データ記憶部 22 に送って記憶する。

【0037】成形樹脂の型内挙動解析部 12 は、解析モデル&解析条件データ記憶部 21 に記憶されている情報を基に、充填解析、保圧流動、型内冷却解析を順次行い、射出成形プロセス中の成形材料の温度、圧力、密度、充填速度、せん断速度、せん断応力の変化を算出する。そして、その算出結果を成形樹脂の型内挙動データ記憶部 23 に送って記憶する。

【0038】充填速度判定部 13 は、成形樹脂の型内挙動データ記憶部 23 に記憶されている成形樹脂の型内挙動データ中の充填速度の変化を確認し、各々の微小要素中の速度のスカラ量が予め登録されている値よりも小さくなる時点を探す。その時点とその微小要素の変形開始点とみなし、その時点の成形樹脂データを変形開始点の成形樹脂データ記憶部 24 に送って記憶する。

【0039】冷却収縮歪み解析部 14 は、変形開始点の成形樹脂データ記憶部 24 に記憶されている各々の微小要素の変形開始点の温度、圧力、密度などのデータを基に熱歪みシミュレーションを行い、冷却過程の収縮による熱歪み量を算出する。そして、その算出結果を冷却収縮による熱歪みデータ記憶部 25 に送って記憶する。

【0040】内部応力歪み解析部 15 は、変形開始点の成形樹脂データ記憶部 24 に記憶されている各々の微小要素の変形開始点の温度、圧力、密度などのデータ、および冷却収縮による熱歪みデータ記憶部 25 に記憶されている冷却過程での成形収縮による熱歪みデータを基に、離型までの型拘束による内部応力変化を算出し、これに伴う歪み量（内部応力歪み量）を算出する。そして、その算出結果を内部応力変化に伴う歪みデータ記憶部 26 に送って記憶する。

【0041】転写パラメータ解析部 16 は、型表面状態データ記憶部 22 に記憶されている型表面状態データと、冷却収縮による熱歪みデータ記憶部 25 に記憶されている熱歪みデータとから金型表面の粗さ曲線に対する成形品表面の粗さ曲線を算出する。そして、その算出結果を転写パラメータとして転写パラメータ記憶部 27 に送って記憶する。

【0042】成形品&金型の相対位置解析部 17 は、冷却収縮による熱歪みデータ記憶部 25 に記憶されている冷却過程の収縮による熱歪みデータ、および内部応力変化に伴う歪みデータ記憶部 26 に記憶されている内部応力変化に伴う歪みデータを基に、成形品の寸法変化量を算出し、それに伴って発生する型と成形品の相対位置を算出し、算出された相対位置を成形品&金型の相対位置記憶部 28 に送って記憶する。

【0043】離型抵抗解析部 18 は、転写パラメータ記憶部 27 に記憶されている転写パラメータ、および成形品&金型の相対位置記憶部 28 に記憶されている型と成形品の相対位置を基に、離型方向に対して両曲線が干渉する（つまり、アンダーカットとなる部分）の面積を算出し、これと成形品のせん断強さの積を算出する。そして、算出されたデータを離型抵抗データ記憶部 29 に送って記憶する。

【0044】つぎに、上記構成を有する射出成形プロセスのシミュレーション装置の動作を示す。図 2 は射出成形プロセスのシミュレーション装置の動作処理手順を示すフローチャートである。この処理プログラムは、射出成形プロセスのシミュレーション装置として構築された、後述するコンピュータシステム内の外部メモリに格納され、CPU によって実行される。

【0045】まず、解析モデル&各種条件データ入力部 11 により、成形品形状を有限要素法、境界要素法、差分法を含む数値解析法で使えるような微小要素に分割して成形品形状モデルを表すメッシュデータを作成する。図 3 は微小要素に分割された成形品形状モデルを示す図である。この成形品形状モデル 31 は縦壁 31a に囲まれた比較的広いベース面 31b を有する箱形に形成されており、そのベース面中央にはリブ部 31c が形成されている。縦壁 31a、ベース面 31b およびリブ部 31c のいずれも、複数の微小要素 31d 群に分割されている。

【0046】さらに、解析モデル&各種条件データ入力部 11 により、計算に用いる樹脂の粘性、PVT（圧力、比容積、温度）や機械的物性などのデータ、射出、保圧、冷却条件などの各種成形条件データ（解析条件データ）および金型の表面状態データを作成する（ステップ S1）。図 4 は解析条件データおよび金型の表面状態データを示すテーブルである。本実施形態では、解析条件データとして、成形材料をポリスチレン、成形樹脂温度を 210℃、金型表面温度を 40℃、充填速度を 60 cm³/sec、充填後の保持圧力を 900 kg/cm²、圧力保持時間を 2 秒、基本肉厚を 1.5 mm、リブ部の肉厚を 1.0 mm に設定した場合を示す。また、金型の表面状態データとして、平均粗さ Ra を 1 μm、最大粗さ Rmax を 6 μm、接触比 tp（50%）を 50%、平均傾斜角 Δq を 2° に設定した場合を示す。図 5 は金型の表面状態データを示すグラフである。このグラフの横軸を測定長さ L、縦軸を粗さ R とし、表面状態データは粗さ曲線 f(x) で表されている。

【0047】尚、本実施形態では、金型の表面温度について 1 種類の情報だけが設定されているが、実際の成形時には各々の場所で表面温度が異なり、1 ショットサイクル中でも変化するので、その分布および変化の詳細を非定常熱伝導解析から求めて設定することも可能である。

【0048】また、金型の個々の表面は加工履歴によって異なるので、それぞれの表面状態のデータを設定することも可能である。さらに、表面粗度として個々にデータを与えているが、この情報はより現実的な加工方法と関連付けることが可能である。例えば、ユーザは加工方法および条件を特定するだけで、加工後の金型表面粗度の情報を一意に特定することも可能である。

【0049】つづいて、成形樹脂の型内挙動解析部12により、解析モデル&解析条件データ入力部11で作成したデータを用いて、まず、樹脂が型内を充填する過程、ゲートシールまでの保圧過程、その後の型内冷却過程を解析し（充填、保圧流動、型内冷却解析）、充填速度判定部13により全ての微小要素での充填速度が予め指定された値よりも小さくなるまでの樹脂挙動データを算出する（ステップS2）。図6は各微小要素31dにおける充填速度を示す図である。図中、各微小要素31dの充填速度32は矢印で示されている。

【0050】冷却収縮歪み解析部14により、型内での冷却過程の熱歪み解析を行い（冷却収縮歪み解析）、各々の微小要素の変形開始点から離型までの熱歪みデータを算出する（ステップS3）。また、内部応力歪み解析部15により、離型までの型拘束による内部応力変化の解析を行い（内部応力歪み解析）、その変化に伴う歪みデータ（内部応力歪み）を算出する（ステップS4）。

【0051】転写パラメータ解析部16により、型表面状態データと冷却過程の収縮による熱歪みデータとを基に、金型表面の粗さ曲線f(x)に対する転写量を算出し、成形品表面の粗さ曲線を出力する（ステップS5）。図7は成形品の粗さ曲線および金型の粗さ曲線を示すグラフである。

【0052】成形品&金型の相対位置解析部17により、冷却過程の収縮による熱歪みデータと内部応力変化に伴う歪みデータとを基に成形品の寸法変化量を算出し、それに伴って発生する金型と成形品の相対位置データを算出する（ステップS6、図7参照）。

【0053】離型抵抗力解析部18により、金型と成形品の相対位置データを考慮し、離型方向に対して金型の粗さ曲線と成形品の粗さ曲線とが干渉する（アンダーカットとなる）部分の面積を算出し、離型抵抗力を算出する（ステップS7）。図8は離型方向に対して金型の粗さ曲線と成形品の粗さ曲線との干渉を示すグラフである。

【0054】ここで、離型方向に対して金型の粗さ曲線と成形品の粗さ曲線とが干渉する（アンダーカットとなる）部分（図中、斜線部分）の樹脂が金型によって削られることにより抵抗力が発生すると仮定する場合、全ての要素でその発生抵抗力を足し合わせたものが成形品全体の離型抵抗力と考えることができる。そして、その抵抗力は、例えば「削られる面積×樹脂のせん断強さ」の式で表すことができる。図9はこの式に基づいて算出し

た各々の微小要素における抵抗力の分布を示す図である。図中、「e」、「f」、……「p」で示される部位の抵抗力は、それぞれ5, 6, ……、16 kg/cm³である。

【0055】この計算例により、つぎのことがわかる。まず、ベース面31bに発生する収縮歪みに対し、外周に存在する金型による拘束が発生するため、金型のコア側の粗さ曲線と、成形品の内側の面の粗さ曲線との距離が小さくなる。したがって、金型の粗さ曲線の凸部によって削られる面積がより大きくなり、大きな抵抗力が発生する。

【0056】一方、ベース面31bの中央に存在するリブ部31cには金型による拘束が存在しないため、板厚方向の収縮により、金型と成形品の両粗さ曲線の間に隙間が発生することになる。したがって、金型の粗さ曲線の凸部によって削られる面積がより小さくなり、離型時の抵抗力は小さくなる。

【0057】このように、金型設計において、離型抵抗力の分布をより正確に予測することにより、より均等な離型抵抗の分布を実現し、離型不良の無い突き出し方式を設計することが可能である。つまり、設計者の熟練度によらず、誰でも最適な設計が容易となる。

【0058】〔第2の実施形態〕図10は第2の実施形態における射出成形プロセスのシミュレーション装置の機能的構成を示すブロック図である。解析モデル&解析条件データ入力部41は、金型および成形品形状モデル、樹脂データ、成形条件データ、および金型の表面状態のデータを入力する。そして、入力されたデータを解析モデル&解析条件データ記憶部51および型表面状態データ記憶部52に送って記憶する。

【0059】成形樹脂の型内挙動解析部42は、解析モデル&解析条件データ記憶部51に記憶されている情報を基に、充填解析、保圧流動、型内冷却解析を順次行い、射出成形プロセス中の成形材料の温度、圧力、密度、充填速度、せん断速度、せん断応力の変化を算出する。そして、その算出結果を成形樹脂の型内挙動データ記憶部53に送って記憶する。

【0060】充填速度判定部53は、成形樹脂の型内挙動データ記憶部53に記憶されている成形樹脂の型内挙動データ中の充填速度の変化を確認し、各々の微小要素中の速度のスカラ量が予め登録されている値よりも小さくなる時点を探す。その時点とその微小要素の変形開始点とみなし、その時点の成形樹脂データを変形開始点の成形樹脂データ記憶部54に送って記憶する。

【0061】冷却収縮歪み解析部44は、変形開始点の成形樹脂データ記憶部54に記憶されている各々の微小要素の変形開始点の温度、圧力、密度などのデータを基に熱歪みシミュレーションを行い、冷却過程の収縮による熱歪みを算出する。そして、その算出結果を冷却収縮による熱歪みデータ記憶部55に送る。

【0062】内部応力歪み解析部45は、変形開始点の成形樹脂データ記憶部54に記憶されている各々の微小要素の変形開始点の温度、圧力、密度などのデータ、および冷却収縮による熱歪みデータ記憶部55に記憶されている冷却過程での成形収縮による熱歪みデータを基に、離型までの型拘束による内部応力変化を算出し、これに伴う歪み量（内部応力歪み量）を算出する。そして、その算出結果を内部応力変化に伴う歪みデータ記憶部56に送る。

【0063】転写パラメータ解析部46は、型表面状態データ記憶部52に記憶されている型表面状態データと、冷却収縮による熱歪みデータ記憶部55に記憶されている熱歪みデータとを基に、金型表面の粗さ曲線に対する成形品表面の粗さ曲線を算出する。そして、その算出結果を転写パラメータとして転写パラメータ記憶部57に送って記憶する。

【0064】成形品&金型の相対位置解析部47は、冷却収縮による熱歪みデータ記憶部55に記憶されている冷却過程の収縮による熱歪みデータ、および内部応力変化に伴う歪みデータ記憶部56に記憶されている内部応力変化に伴う歪みデータを基に、成形品の寸法変化量を算出し、それに伴って発生する型と成形品の相対位置を算出して成形品&金型の相対位置記憶部58に送って記憶する。

【0065】拘束反力解析部48は、冷却収縮による熱歪みデータ記憶部55に記憶されている冷却過程の収縮による熱歪みデータ、および内部応力変化に伴う歪みデータ記憶部56に記憶されている内部応力変化に伴う歪みデータを基に、金型の拘束による成形品の反力を算出して拘束反力記憶部59に送って記憶する。

【0066】物性値解析部49は、拘束反力記憶部59に記憶されている拘束反力のデータを基に、成形材料の硬化を考慮したせん断強さなどの物性値を算出し、物性値記憶部60に送って記憶する。

【0067】離型抵抗力解析部50は、転写パラメータ記憶部57に記憶されている転写パラメータ、成形品&金型の相対位置記憶部58に記憶されている型と成形品の相対位置、および物性値記憶部60に記憶されている物性値に基づき、離型方向に対して両曲線が干渉する部分（アンダーカットとなる部分）の面積を算出し、これと成形品のせん断強さとの積を演算する。そして、これを離型抵抗データとして、離型抵抗データ記憶部61に送って記憶する。

【0068】上記構成を有する射出成形プロセスのシミュレーション装置の動作について示す。図11は射出成形プロセスのシミュレーション装置の動作処理手順を示すフローチャートである。この処理プログラムは、射出成形プロセスのシミュレーション装置として構築された、後述するコンピュータシステム内の外部メモリに格納され、CPUによって実行される。

【0069】まず、解析モデル&解析条件データ入力部41により、成形品形状を有限要素法、境界要素法、差分法を含む数値解析法で使えるような微小要素に分割して成形品形状モデルを表すメッシュデータを作成する。第2の実施形態では、微小要素に分割された成形品形状モデルは、前記第1の実施形態の図3に示したモデルと同じである。

【0070】さらに、解析モデル&解析条件データ入力部41により、計算に用いる樹脂の粘性、PVT（圧力、比容積、温度）や機械的物性などのデータ、射出、保圧、冷却条件などの各種成形条件データ（解析条件データ）、および金型の表面状態データを作成する（ステップS11）。ここで、解析条件データは、前記第1の実施形態の図4と同じである。また、金型の表面状態データは、前記第1の実施形態の図5と同じである。

【0071】本実施形態では、金型の表面温度として1種類の情報だけが設定されているが、前記第1の実施形態と同様、実際の成形時には各々の場所で表面温度が異なり、1ショットサイクル中でも変化する。その分布および変化の詳細を非定常熱伝導解析から求めて設定することも可能である。

【0072】また、金型の個々の表面は加工履歴により異なるので、それぞれの表面状態のデータを設定することも可能である。さらに、個々の表面粗度としてデータを与えているが、この情報はより現実的な加工方法と関連付けることも可能である。例えば、ユーザは加工方法および条件を特定するだけで、加工後の金型表面粗度の情報を一意的に特定することが可能である。

【0073】つづいて、成形樹脂の型内挙動解析部42により、解析モデル&解析条件データ入力部41で作成したデータを用いて、まず、樹脂が型内を充填する過程、ゲートシールまでの保圧過程、その後の型内冷却過程を解析し（充填、保圧流動、型内冷却解析）、充填速度判定部43により全ての微小要素での充填速度が予め指定された値よりも小さくなるまでの樹脂挙動データを算出する（ステップS12、図6参照）。

【0074】冷却収縮歪み解析部44により、型内での冷却過程の熱歪み解析を行い（冷却収縮歪み解析）、各々の微小要素の変形開始点から離型までの熱歪みデータを算出する（ステップS13）。内部応力歪み解析部45により、離型までの型拘束による内部応力変化の解析を行い（内部応力歪み解析）、その変化に伴う歪みデータ（内部応力歪み量）を算出する（ステップS14）。

【0075】転写パラメータ解析部46により、型表面状態データおよび熱歪みデータに基づき、金型表面の粗さ曲線に対する転写量を算出し、成形品表面の粗さ曲線を転写パラメータとして出力する（ステップS15、図7参照）。

【0076】さらに、成形品&金型の相対位置解析部47により、冷却過程の収縮による熱歪みデータおよび内

部応力変化に伴う歪みデータに基づき、成形品の寸法変化量を算出し、それに伴って発生する型と成形品の相対位置データを算出する（ステップ S 16、図 7 参照）。

【0077】また、拘束反力解析部 48 により、冷却過程の収縮による熱歪みデータおよび内部応力変化に伴う歪みデータに基づき、金型の拘束による成形品の反力データを算出する（ステップ S 17）。図 12 は金型の拘束による成形品の反力データを示す図である。図中、反力 34 は矢印で示されている。

【0078】物性値解析部 49 により、金型の拘束による成形品の反力データ（拘束反力）から成形材料の硬化を考慮したせん断強さなどの物性値を算出する（ステップ S 18）。

【0079】離型抵抗解析部 50 により、型と成形品の相対位置データを考慮し、離型方向に対して金型の粗さ曲線と成形品の粗さ曲線とが干渉する（アンダーカットとなる）部分の面積を算出し、拘束反力により発生した成形材料の硬化を考慮した物性値を用いて離型抵抗力を算出する（ステップ S 19）。

【0080】前記第 1 の実施形態と同様、離型方向に対して金型の粗さ曲線と成形品の粗さ曲線とが干渉する（アンダーカットとなる）部分（図 8 の斜線部分）の樹脂が金型によって削られることにより抵抗力が発生すると仮定する場合、全ての微小要素でその発生抵抗力を足し合わせたものが成形品全体の離型抵抗力であると考えることができる。その抵抗力は、例えば「削られる面積×樹脂のせん断強さ」の式で表すことができる。図 13 はこの式に基づき、各々の微小要素において算出された抵抗力の分布を示す図である。図中、「b」、「c」、……、「l」で示される部位の抵抗力は、それぞれ 2, 4, ……、22 kg/cm² である。

【0081】この計算例では、つぎのことがわかる。まず、ベース面に発生する収縮歪みに対し、外周に存在するために金型による拘束が発生するので、金型のコア側の粗さ曲線と成形品の内側の面の粗さ曲線との距離が小さくなる。したがって、金型の粗さ曲線の凸部によって削られる面積がより大きくなり、大きな抵抗力が発生する。

【0082】また、金型によって拘束されることにより外周の縦壁に反力が発生する。その外力（反力）が作用している状態で冷却されるので、密度は大きくなり、結局、その表面は堅くなる。その分、離型時の抵抗力が増すことになる。

【0083】一方、ベース面の中央に存在するリブ部には、金型による拘束が存在しないので、板厚方向の収縮により金型と成形品の両粗さ曲線の間に隙間が発生することになる。したがって、金型の粗さ曲線の凸部によって削られる面積がより小さくなり、離型時の抵抗力は小さくなる。

【0084】このように、金型設計において、離型抵抗

力の分布をより正確に予測することにより、より均等な離型抵抗の分布を実現し、離型不良の無い突き出し方式を設計することができる。つまり、設計者の熟練度によらず、誰でも最適な設計が容易となる。

【0085】〔第 3 の実施形態〕図 14 は第 3 の実施形態における射出成形プロセスのシュミレーション装置の機能的構成を示すブロック図である。解析モデル&解析条件データ入力部 81 は、金型および成形品形状モデル、樹脂データ、成形条件データ、金型の表面状態のデータの他、突き出し方向、突き出しピンの本数、位置など離型に関する情報を入力する。そして、入力されたデータを、解析モデル&解析条件データ記憶部 93、型表面状態データ記憶部 94 および離型情報データ記憶部 95 に送って記憶する。

【0086】成形樹脂の型内挙動解析部 82 は、解析モデル&解析条件データ記憶部 93 に記憶されている情報を基に、充填解析、保圧流動、型内冷却解析を順次行い、射出成形プロセス中の成形材料の温度、圧力、密度、充填速度、せん断速度、せん断応力の変化を算出する。そして、この算出結果を成形樹脂の型内挙動データ記憶部 96 に送って記憶する。

【0087】充填速度判定部 83 は、成形樹脂の型内挙動データ記憶部 96 に記憶されている成形樹脂の型内挙動データ中に含まれる充填速度の変化を確認し、各微小要素中の速度のスカラ量が予め登録されている値よりも小さくなる時点を探す。その時点とその微小要素の変形開始点とみなし、その時点の成形樹脂データを変形開始点の成形樹脂データ記憶部 97 に送って記憶する。

【0088】冷却収縮歪み解析部 84 は、変形開始点の成形樹脂データ記憶部 97 に記憶されている各微小要素の変形開始点の温度、圧力、密度などのデータを基に、熱歪みシュミレーションを行い、冷却過程の収縮による熱歪み量を算出する。そして、この算出結果を冷却収縮による熱歪みデータ記憶部 98 に送って記憶する。

【0089】内部応力歪み解析部 85 は、変形開始点の成形樹脂データ記憶部 97 に記憶されている各微小要素の変形開始点の温度、圧力、密度などのデータ、および冷却収縮による熱歪みデータ記憶部 98 に記憶されている冷却過程での成形収縮による熱歪みデータを基に、離型までの型拘束による内部応力変化を算出し、これに伴う歪み量（内部応力歪み量）を算出する。そして、この算出結果を内部応力変化に伴う歪みデータ記憶部 99 に送って記憶する。

【0090】転写パラメータ解析部 86 は、型表面状態データ記憶部 94 に記憶されている型表面状態データ、および冷却収縮による熱歪みデータ記憶部 98 に記憶されている熱歪みデータに基づき、金型表面の粗さ曲線に対する成形品表面の粗さ曲線を算出する。そして、この算出結果を転写パラメータとして転写パラメータ記憶部 100 に送って記憶する。

【0091】成形品&金型の相対位置解析部87は、冷却収縮による熱歪みデータ記憶部98に記憶されている冷却過程の収縮による熱歪みデータ、および内部応力変化に伴う歪みデータ記憶部99に記憶されている内部応力変化に伴う歪みデータを基に、成形品の寸法変化量を算出し、それに伴って発生する型と成形品の相対位置を算出して、成形品&金型の相対位置記憶部101に送って記憶する。

【0092】拘束反力解析部88は、冷却収縮による熱歪みデータ記憶部98に記憶されている冷却過程の収縮による熱歪みデータ、および内部応力変化に伴う歪みデータ記憶部99に記憶されている内部応力変化に伴う歪みデータを基に、金型の拘束による成形品の反力を算出し、拘束反力記憶部103に送って記憶する。

【0093】物性値解析部89は、変形開始点の成形樹脂データ記憶部97に記憶されている各微小要素の変形開始点の温度、圧力、密度などの状態量のデータ、および拘束反力記憶部103に記憶されている拘束反力のデータを基に、成形材料の圧力、温度、密度などの状態量を考慮したせん断強さなどの物性値を算出し、物性値記憶部104に送って記憶する。

【0094】表面間力解析部90は、型表面状態データ記憶部94に記憶されている型表面状態データ、および離型情報データ記憶部95に記憶されている離型情報データを基に、成形品と金型の接触表面に働く表面間力を算出し、表面間力記憶部102に送って記憶する。

【0095】離型抵抗力解析部91は、転写パラメータ記憶部100に記憶されている転写パラメータ、および成形品&金型の相対位置記憶部101に記憶されている型と成形品の相対位置に基づき、離型方向に対して両曲線が干渉する部分（アンダーカットとなる部分）の面積を算出し、これと物性値記憶部104に記憶されている物性値データに含まれる成形品のせん断強さとの積を演算する。さらに、表面間力記憶部102に記憶されている表面間力のデータをこれに加え、離型抵抗データとして離型抵抗データ記憶部105に送って記憶する。離型抵抗データ出力部92は離型抵抗データ記憶部105に記憶された離型抵抗データを出力する。

【0096】つぎに、上記構成を有する射出成形プロセスのシュミレーション装置の動作を示す。図15は射出成形プロセスのシュミレーション装置の動作処理手順を示すフローチャートである。

【0097】まず、解析モデル&解析条件データ入力部81により、成形品形状を有限要素法、境界要素法、差分法を含む数値解析法で使えるような微小要素に分割して成形品形状モデルを表すメッシュデータを作成する。第3の実施形態では、微小要素に分割された成形品形状モデルは、第2の実施形態と同様、前記第1の実施形態の図3に示したモデルと同じである。さらに、解析モデル&解析条件データ入力部81により、計算に用いる樹

脂の粘性、PVT（圧力、比容積、温度）や機械的物性などのデータ、射出、保圧、冷却条件などの各種成形条件データ（解析条件データ）、金型の表面状態データ

（図5参照）、および突き出し方向、突き出しピンの位置、本数などの離型に関する情報を作成する（ステップS21）。図16は突き出し方向、突き出しピンの位置、本数などの離型に関する情報を示す図である。図中、矢印35はベース面31bに設けられた4箇所突き出しピンの位置および突き出し方向を示す。

【0098】尚、解析条件データは、前記第2の実施形態と同様、前記第1の実施形態の図4に示す解析条件データと同じである。また、本実施形態では、前記第1および第2の実施形態と同様、金型の表面温度について1種類の情報だけが設定されているが、実際の成形時には各々の場所で表面温度が異なり、1ショットサイクル中でも変化するので、その分布および変化の詳細を非定常熱伝導解析から求めて設定することも可能である。また、金型の個々の表面は加工履歴によって異なるので、それぞれの表面状態のデータを設定することも可能である。さらに、表面粗度として個々にデータを与えているが、この情報はより現実的な加工方法と関連付けることが可能である。例えば、ユーザは加工方法および条件を特定するだけで、加工後の金型表面粗度の情報を一意に特定することも可能である。

【0099】成形樹脂の型内挙動解析部82では、解析モデル&解析条件データ入力部81で作成したデータを用いて、樹脂が型内を充填する過程、ゲートシールまでの保圧過程、その後の型内冷却過程を解析し、充填速度判定部83により全ての微小要素での充填速度（図6参照）が予め指定された値よりも小さくなるまでの樹脂挙動データを算出する（ステップS22）。

【0100】冷却収縮歪み解析部84により、型内での冷却過程の熱歪み解析を行い、各々の微小要素の変形開始点から離型までの熱歪みデータを算出する（ステップS23）。内部応力歪み解析部85により、離型までの型拘束による内部応力変化の解析を行い、その変化に伴う歪みデータを算出する（ステップS24）。

【0101】転写パラメータ解析部86により、型表面状態データおよび熱歪みデータに基づき、金型表面の粗さ曲線に対する転写量を算出し、成形品表面の粗さ曲線を出力する（ステップS25、図7参照）。

【0102】成形品&金型の相対位置解析部87により、冷却過程の収縮による熱歪みデータおよび内部応力変化に伴う歪みデータに基づき、成形品の寸法変化量を算出し、それに伴って発生する型と成形品の相対位置データを算出する（ステップS26、図7参照）。

【0103】また、拘束反力解析部88により、冷却過程の収縮による熱歪みデータおよび内部応力変化に伴う歪みデータに基づき、金型の拘束による成形品の反力データを算出する（ステップS27、図12参照）。

【0104】物性値解析部 89により、樹脂挙動データおよび拘束反力のデータに基づき、成形材料の圧力、温度、密度などの状態量を考慮したせん断強さなどの物性値を算出する（ステップ S 28）。

【0105】さらに、表面間力解析部 90により、金型の表面状態データおよび離型情報に基づき、成形品と金型の接触表面に働く表面間力を算出する（ステップ S 29）。そして、離型抵抗力解析部 91により、型と成形品の相対位置データを考慮し、離型方向に対して金型の粗さ曲線と成形品の粗さ曲線とが干渉する（アンダーカットとなる）部分の面積を算出し、これと成形プロセス中の状態量変化や拘束反力により特定したせん断強さとの積を演算する。さらに、演算された値に表面間力を加えて離型抵抗力とする（ステップ S 30）。

【0106】ここで、離型方向に対して金型の粗さ曲線と成形品の粗さ曲線とが干渉する（アンダーカットとなる）部分の樹脂が金型によって削られることにより抵抗力が発生すると仮定する場合（図 8 参照）、それは成形品全体の離型抵抗力の一部と考えることができる。この抵抗力は、例えば「削られる面積×樹脂のせん断強さ」の式で表すことができる。この式に基づき、各々の微小要素において算出した抵抗力の分布は、前述した第 2 の実施形態の図 13 に示す通りである。

【0107】図 17 は表面間力も加えた離型抵抗力の分布を示す図である。図中、「b」、「c」、……、

「m」で示される部位の抵抗力は、それぞれ 2, 4, ……、 24 kg/cm^3 である。ここで、表面間力については、つぎのように考えることができる。すなわち、金型表面の粗さが非常に小さい場合など、成形材料から揮発して金型表面に積層された成分が接着剤のような役割を持つことがあるが、この場合、離型方向に形状的な干渉部分が存在しない面においても、その揮発成分から成形品を分離するための力が必要となる。

【0108】また、成形品の寸法が非常に小さい場合など、金型と成形品の表面に働く分子間力などの力が無視できない状況も存在する。この場合も同様に、離型方向に形状的な干渉部分が存在しない面においても、金型と成形品の表面を分離するための力が必要となる。

【0109】さらに、成形品の一部もしくは全体が箱形のような形状の場合、成形品と金型の表面の隙間が小さくなって雰囲気ガスの通過しにくくなる状況では、離型のストロークの途中で大気圧よりも圧力が低い空間

（密閉空間）が発現することがある。その空間がダンパーのような役割をするため、突き出し速度が大きくなる程、大きな力が必要となる。

【0110】このような現象を考慮して、金型と成形品と間の挙動をモデル化する必要があるが、ここでは最も単純な例としてバネ要素を用いた結果を示している。そして、バネ定数を歪み依存性を持つようにすることで、突き出される途中の抵抗力をモデル化することができ

る。さらに、ダッシュポット（流体緩衝器）要素を用いることにより、突き出し速度に対する定数を考慮することも可能であり、バネ要素と組み合わせた様々なパターンのモデルを想定することにより、かなり複雑な挙動をモデル化することも可能である。

【0111】この計算例では、ベース面に発生する収縮歪みに対し、外周に縦壁が存在するために金型による拘束が発生し、金型のコア側の粗さ曲線と、成形品の内側の面の粗さ曲線との距離が小さくなる。したがって、金型の粗さ曲線の凸部によって削られる面積がより大きくなり、大きな抵抗力が発生する。

【0112】また、金型によって拘束されることにより外周の縦壁には反力が発生する。その外力（反力）が作用している状態で冷却されるので、密度は大きくなり、結局、その表面は堅くなる。その分、離型時の抵抗力が増すことになる。

【0113】一方、ベース面の中央に存在するリブ部には、金型による拘束が存在しないので、板厚方向の収縮により、金型と成形品の両粗さ曲線の間に隙間が発生することになる。したがって、金型の粗さ曲線の凸部によって削られる面積がより小さくなり、離型時の抵抗力は小さくなる。

【0114】さらに、ベース面のコア側の面は、離型方向に形状的な干渉部分が存在しない面であるが、ここでは表面間力を定義していることにより、その分、離型時の抵抗力が増している。

【0115】このように、金型設計において、離型抵抗力の分布をより正確に予測することにより、より均等な離型抵抗の分布を実現して離型不良の無い突き出し方式を設計することができる。つまり、設計者の熟練度によらず、誰でも最適な設計が容易となる。

【0116】尚、上記実施形態では、説明を簡単にするために、縦壁で囲まれた比較的ベース面の広い箱型の樹脂成形品について示したが、これに限定されるものではなく、任意の 3 次元形状の樹脂成形品に対して適用可能である。

【0117】また、図 1、図 10 および図 14 で示した射出成形プロセスのシミュレーション装置の機能的構成の各部分は、コンピュータがプログラムを実行することにより具体的に実現される。そして、本発明はシステムあるいは装置にプログラムを供給することによって達成される場合にも適用できることはいうまでもない。この場合、本発明を達成するためのソフトウェアによって表されるプログラムを格納した記憶媒体をシステムあるいは装置に読み出すことによってそのシステムあるいは装置が本発明の効果を享受することが可能となる。図 18 は上記各実施形態の射出成形プロセスのシミュレーション装置を実現するためのコンピュータシステムの概略的構成を示す図である。このコンピュータシステムは、周知の CPU 181、ROM 182、RAM 183、I/O

インターフェース 184 を有するコンピュータ本体 185 と、キーボード 186、CRT ディスプレイ 187、外部メモリ 188 およびプリンタ 189 とから構成されており、CPU 181 が外部メモリ 188 に記憶された各種プログラムモジュールを実行することにより、シミュレーション装置の各部の機能を実現する。

【0118】図 19 は記憶媒体としての外部メモリ 188 のメモリマップを示す図である。外部メモリ 188 には、図 2 のフローチャートに示す射出成形プロセスのシミュレーションプログラムモジュール、図 11 のフローチャートに示す射出成形プロセスのシミュレーションプログラムモジュール、図 15 のフローチャートに示す射出成形プロセスのシミュレーションプログラムモジュールなどが格納されている。プログラムモジュールを供給する記憶媒体としては、例えばフロッピーディスク、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、CD-R、DVD、磁気テープ、不揮発性のメモリカードなどを用いることができる。

【0119】

【発明の効果】本発明によれば、射出成形品の成型時の離型抵抗分布を予測することができる。したがって、金型を作成して成形実験を行わなくても、より均等な離型抵抗分布を実現する突き出し方式（形状、位置など）を決定することができる。これにより、離型による形状変化を少ない成形品を得るための設計パラメータ（成形品形状、使用材料、金型構造、成形条件、…… など）を決定することができる。

【0120】この結果、量産検討期間を大幅に短縮することができ、引いては設計から量産開始期間の短縮と、製品コストの削減を行うことができる。

【0121】このように、成形品の離型時の歪みをより正確に算出し、それに伴う金型表面の反力と、離型時における突き出し力とによる成形品と金型との間の摩擦力から成形品全体の離型抵抗力をより正確に算出することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】射出成形プロセスのシミュレーション装置の機能的構成を示すブロック図である。

【図 2】射出成形プロセスのシミュレーション装置の動作処理手順を示すフローチャートである。

【図 3】微小要素に分割された金型および成形品形状モデルを示す図である。

【図 4】解析条件データおよび金型の表面状態データを示すテーブルである。

【図 5】金型の表面状態データを示すグラフである。

【図 6】各微小要素の充填速度を示す図である。

【図 7】成形品の粗さ曲線および金型の粗さ曲線を示すグラフである。

【図 8】離型方向に対して金型の粗さ曲線と成形品の粗さ曲線との干渉を示すグラフである。

【図 9】算出した各々の微小要素における抵抗力の分布を示す図である。

【図 10】第 2 の実施形態における射出成形プロセスのシミュレーション装置の構成を示すブロック図である。

10 【図 11】射出成形プロセスのシミュレーション装置の動作処理手順を示すフローチャートである。

【図 12】金型の拘束による成形品の反力データを示す図である。

【図 13】この式に基づき、各々の要素において算出された抵抗力の分布を示す図である。

【図 14】第 3 の実施形態における射出成形プロセスのシミュレーション装置の構成を示すブロック図である。

【図 15】射出成形プロセスのシミュレーション装置の動作処理手順を示すフローチャートである。

20 【図 16】突き出し方向、突き出しピンの位置、本数などの離型に関する情報を示す図である。

【図 17】表面間力も加えた離型抵抗力の分布を示す図である。

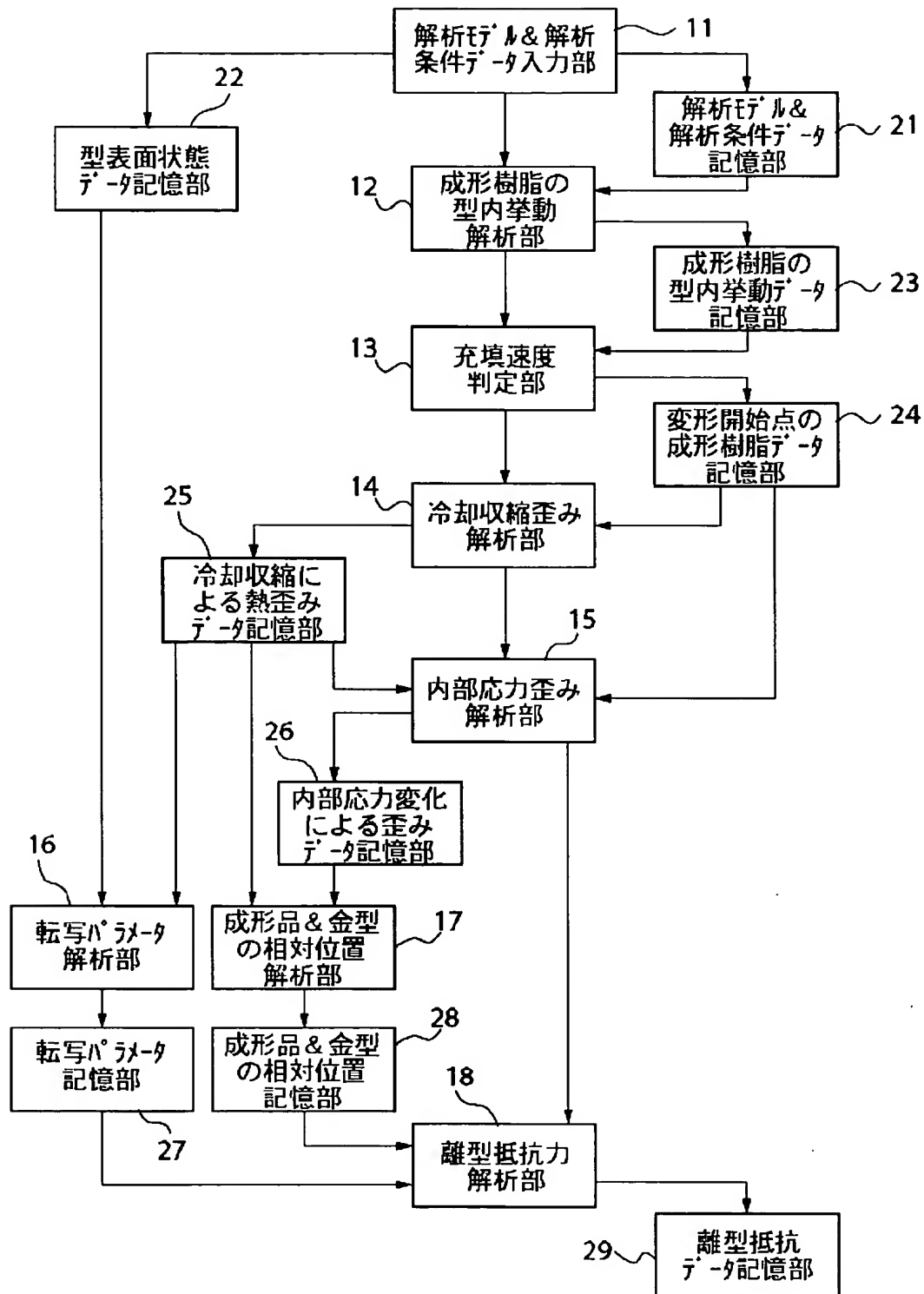
【図 18】各実施形態の射出成形プロセスのシミュレーション装置を実現するためのコンピュータシステムの概略的構成を示す図である。

【図 19】記憶媒体としての外部メモリ 188 のメモリマップを示す図である。

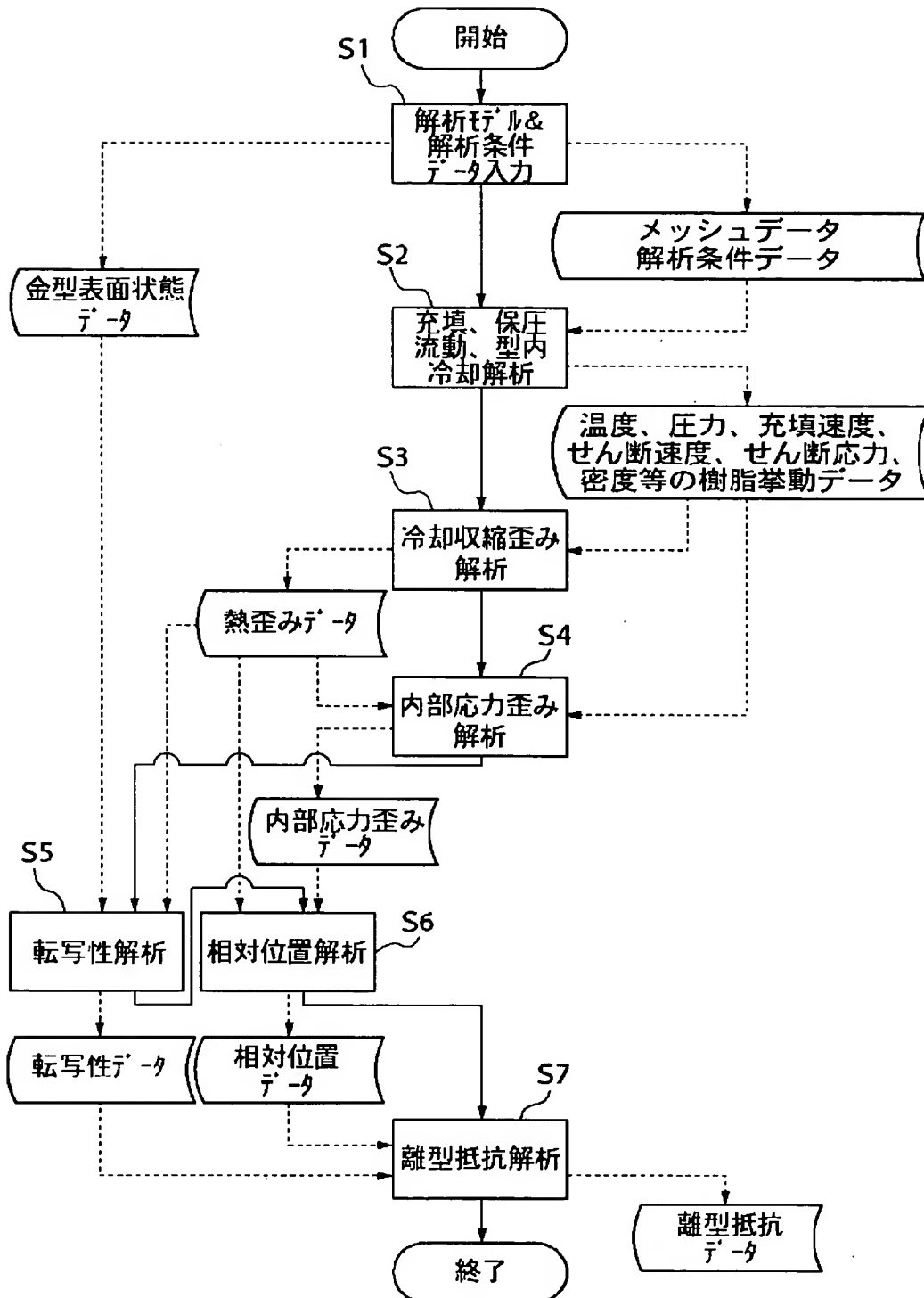
【符号の説明】

- | | | |
|----|----------|------------------|
| 30 | 11、41、81 | 解析モデル&解析条件データ入力部 |
| | 12、42、82 | 成形樹脂の型内挙動解析部 |
| | 13、43、83 | 充填速度判定部 |
| | 14、44、84 | 冷却収縮歪み解析部 |
| | 15、45、85 | 内部応力歪み解析部 |
| | 16、46、86 | 転写パラメータ解析部 |
| | 17、47、87 | 成形品&金型の相対位置解析部 |
| | 18、50、91 | 離型抵抗解析部 |
| | 31 | 成形品形状モデル（解析モデル） |
| | 31d | 微小要素 |
| 40 | 48、88 | 拘束反力解析部 |
| | 49、89 | 物性値解析部 |
| | 90 | 表面間力解析部 |
| | 181 | CPU |
| | 188 | 外部メモリ |

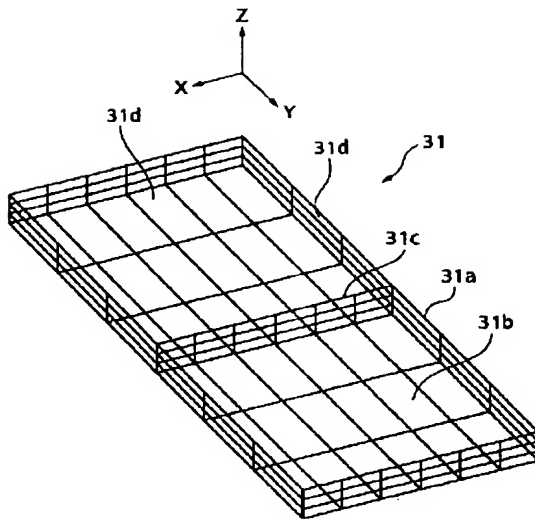
【図1】



【図2】



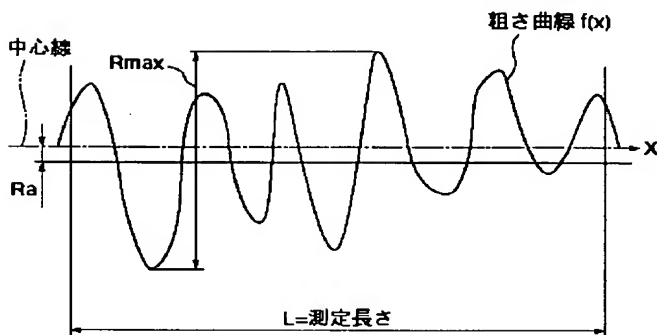
【図3】



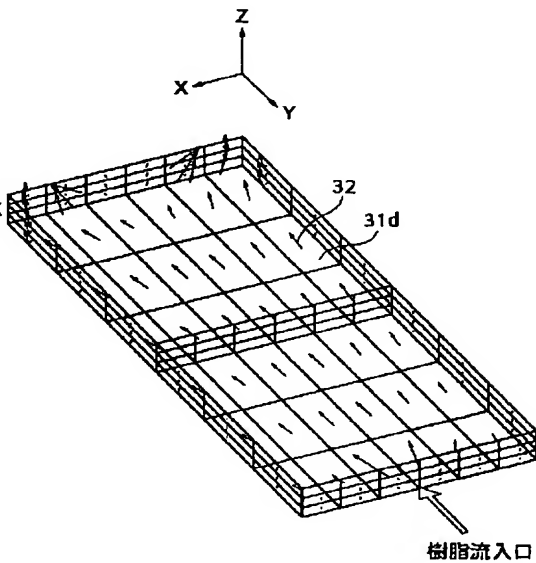
【図4】

成形材料	ポリスチレン
成形樹脂温度	210 °C
金型表面温度	40 °C
充填速度	60 cm ³ /sec
充填後の保持圧力	900 kg/cm ²
圧力保持時間	2 秒
基本肉厚	1.5 mm
リブ部の肉厚	1.0 mm
金型表面状態 (粗度)	
Ra	1 μm
Rmax	6 μm
tp(50%)	50 %
Δq	2 °

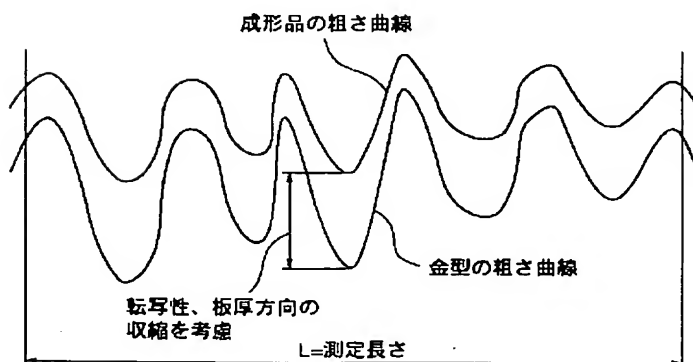
【図5】



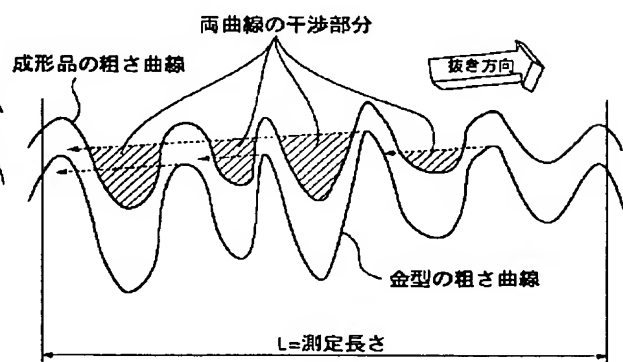
【図6】



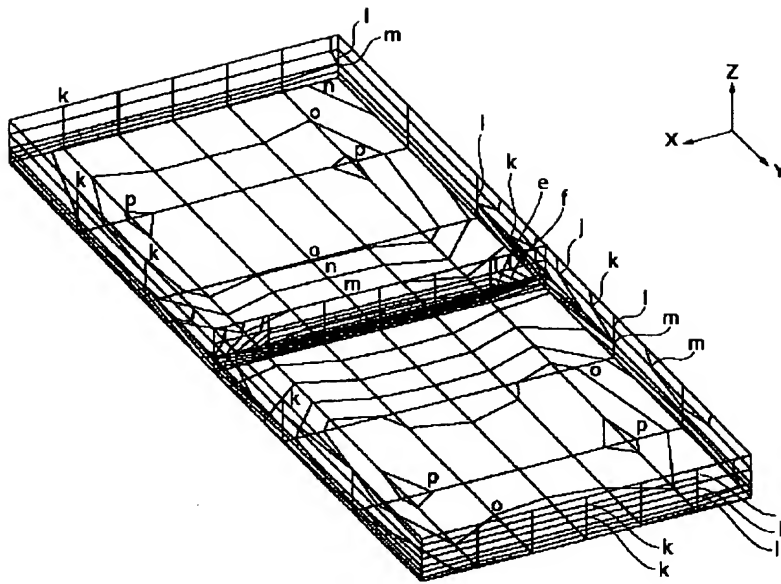
【図7】



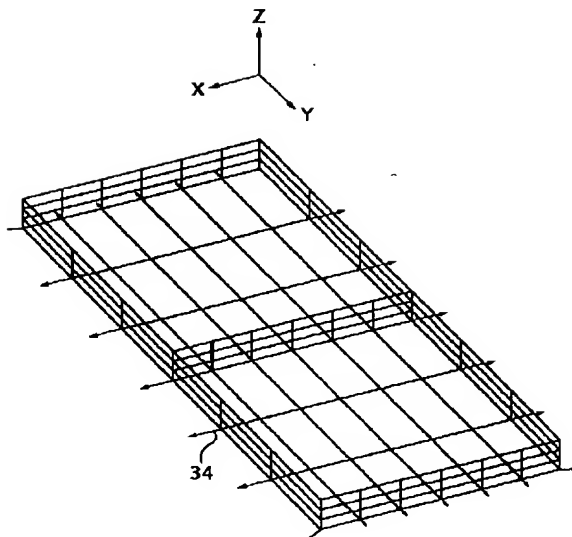
【図8】



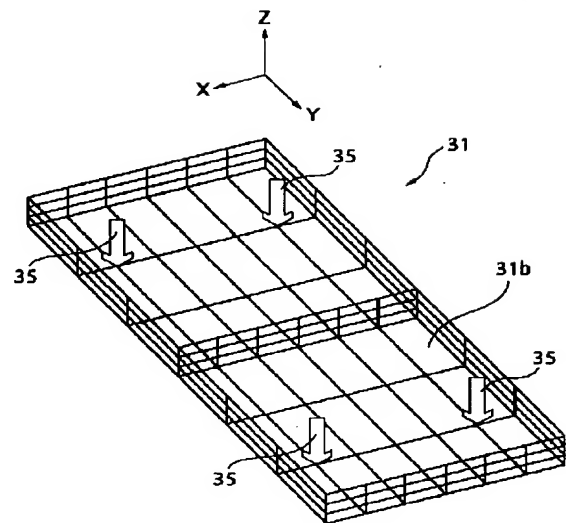
【図9】



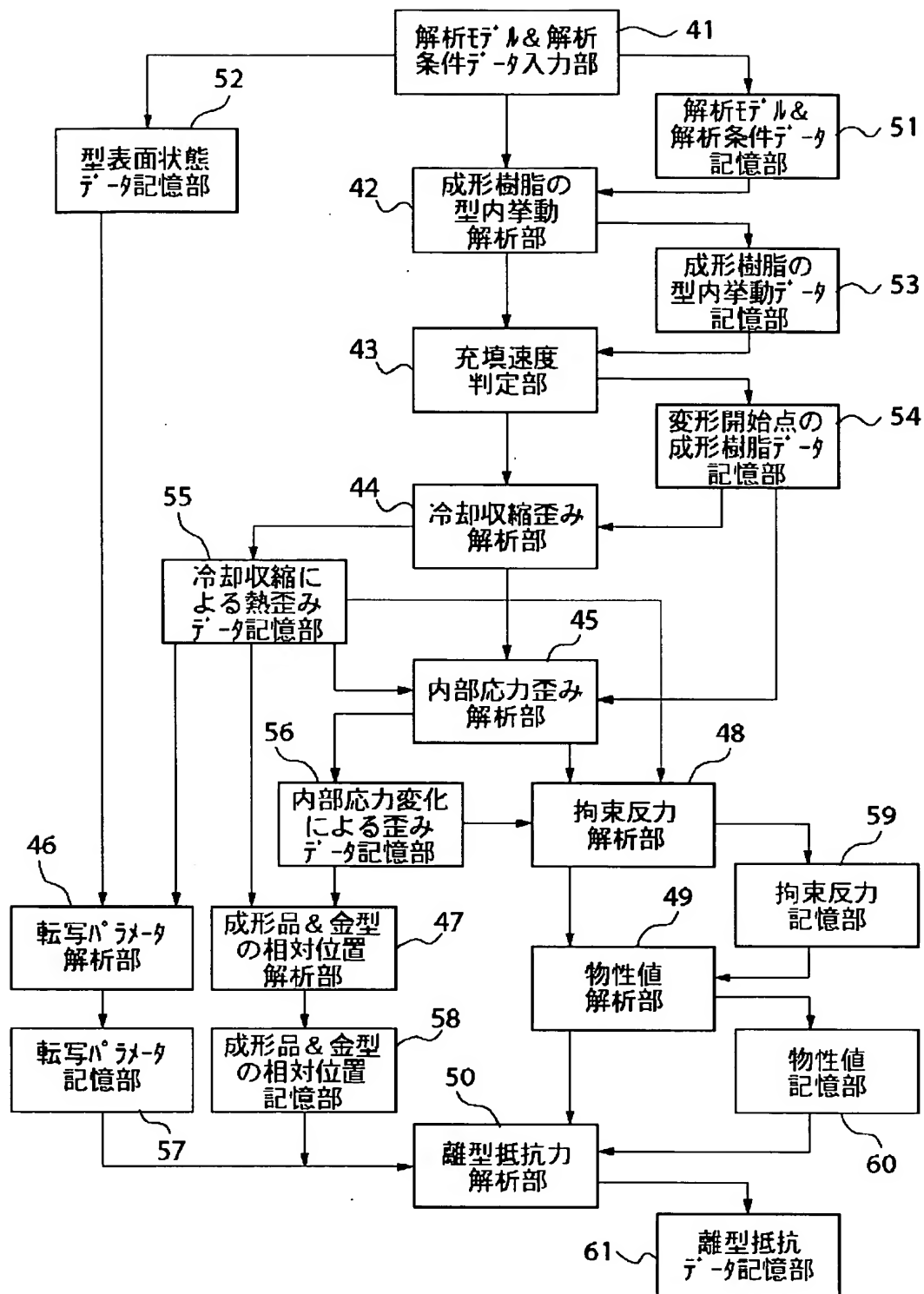
【図12】



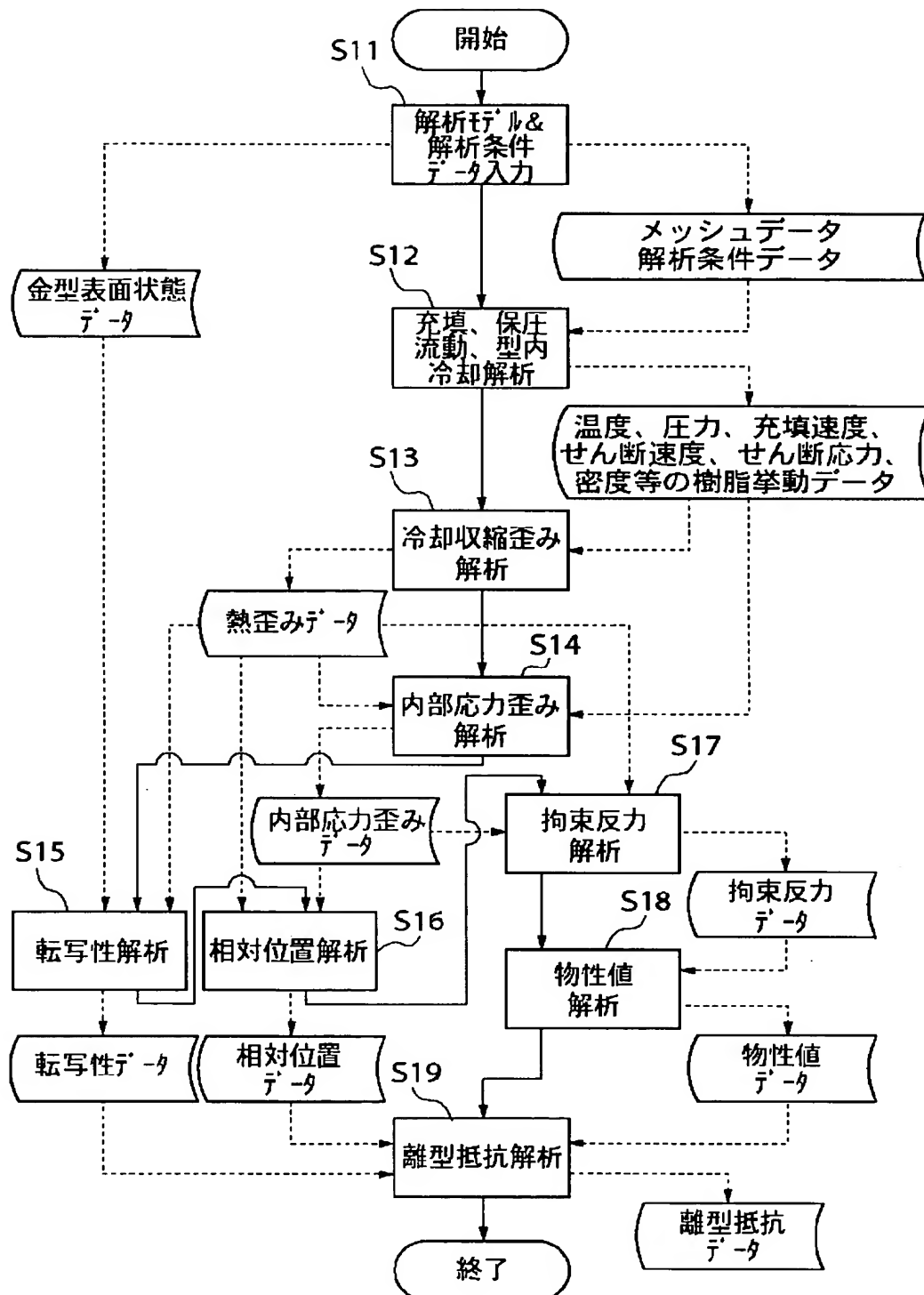
【図16】



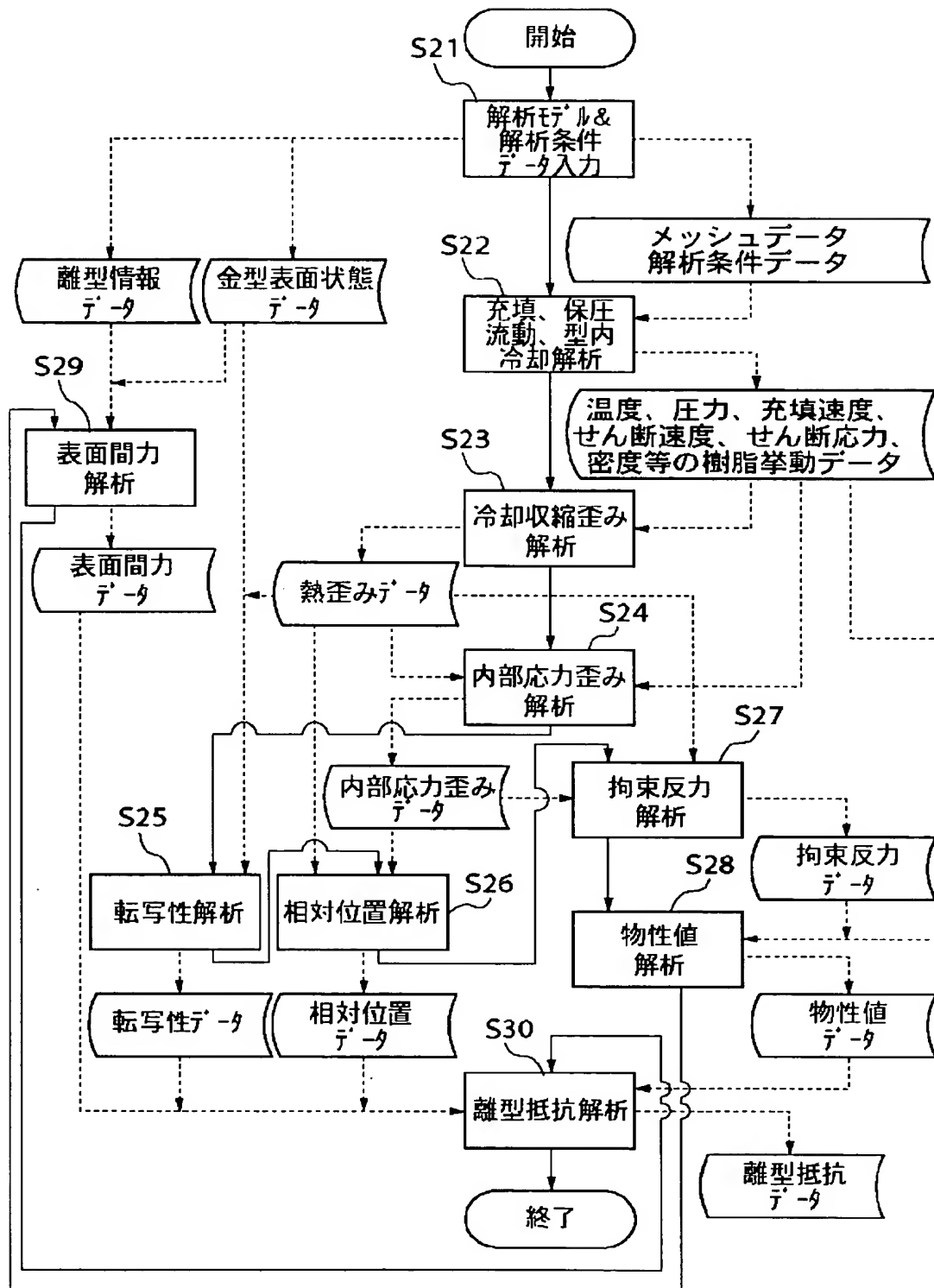
【図10】



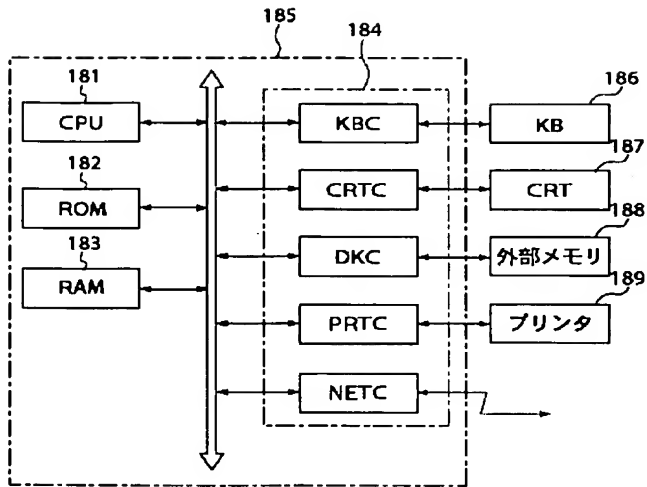
【图 1 1】



【図15】



【図 18】



【図 19】

